

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-029079

(43)Date of publication of application : 28.01.2000

(51)Int.Cl.

G02F 1/313

G02B 6/12

G02F 1/01

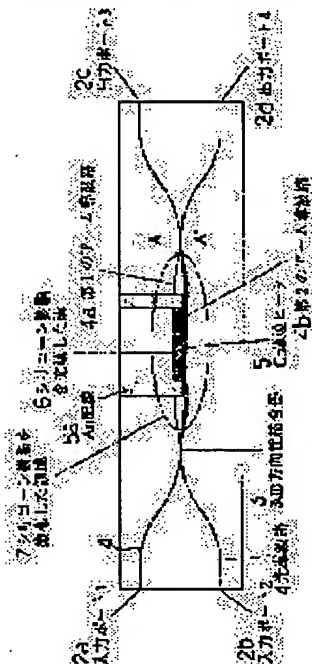
(21)Application number : 10-192223

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 08.07.1998

(72)Inventor : INOUE YASUYUKI
HIDA YASUHIRO
SUGITA AKIO

(54) THERMOOPTICAL SWITCH



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To save power of a waveguide type optical switch.

SOLUTION: The thermo-optical switch of a Mach-Zehnder type consists of two directional couplers 3 formed by bringing two waveguides 4 into proximate to each other on a substrate, two arm waveguides 4a, 4b connecting these directional couplers and a thin-film heater for shifting the phase of propagation light by imparting a thermo-optical effect to these arm optical waveguides. A groove 6 for parting the arm optical waveguides to be imparted with the thermo-optical effect is arranged in at least mid-way of the arm optical waveguides to be imparted with the thermo-optical effect. An org. material having a thermo-optical constant larger than the thermo-optical constant of the arm optical waveguides to be imparted with the thermo-optical effect is filled into this groove.

[Claim(s)]

[Claim 1] Two directional couplers to which two optical waveguides are made to come to approach by two places on a substrate Two arm optical waveguide which connects said directional coupler A thin film heater which gives a thermooptic effect to said arm optical waveguide, and shifts a phase of propagation light It is the heat optical switch equipped with the above, and a slot which divides the arm optical waveguide concerned in the middle of arm optical waveguide which should give said thermooptic effect at least is arranged, and it is characterized by coming to fill up an organic material with a larger heat optical constant than a heat optical constant of arm optical waveguide which should give said thermooptic effect to this slot.

[Claim 2] Two directional couplers to which two optical waveguides are made to come to approach by two places on a substrate Two arm optical waveguide which connects said directional coupler A thin film heater which gives a thermooptic effect to said arm optical waveguide, and shifts a phase of propagation light A slot which divides the arm optical waveguide concerned in the middle of arm optical waveguide which is the heat optical switch equipped with the above, and should give said thermooptic effect at least is arranged, and it fills up with an organic material with a larger heat optical constant than a heat optical constant of said arm optical waveguide which should give said thermooptic effect to this slot, and is characterized by coming to arrange a slot for heat-conduction prevention at said arm optical waveguide and the outside edge of a heater.

[Claim 3] A heat optical switch according to claim 1 or 2 characterized by arranging a slot divided into plurality so that an overall length of a slot might become equal between two arms to both sides of said two arm optical waveguide.

[Claim 4] A heat optical switch according to claim 3 characterized by a gap between said two or more slots being 30 micrometers (micrometer) - 100 micrometers (micrometer).

[Claim 5] A heat optical switch according to claim 1 or 2 characterized by arranging said thin film heater on the outside of said two arm optical waveguide.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] About the accumulation mold optical switch which used quartz system optical waveguide, this invention processes a slot into a part of quartz system optical waveguide, fills up the slot with an organic material in detail, and relates to the heat optical switch which switches using the thermooptic

effect of the organic material.

[0002]

[Description of the Prior Art] the accumulated type heat optical switch using former and quartz system optical waveguide -- being related -- for example -- M.Okuno et al. and" -- 8x8 optical matrix switch using silica-based plannea lightwave circuits, "IEICE Trans.Electron., and vol.76-C and no. -- 7, pp.1215-1223, and July 1993. It is stated in detail.

[0003] This switch is shown in drawing 9 , and the expanded sectional view of CC' line of drawing 9 is shown in drawing 10 .

[0004] This is the Mach-Zehnder interferometer which used two directional couplers, and switches by controlling by the thin film heater which has arranged the optical-path-length difference of the two arm optical waveguides 4a and 4b on the front face of arm optical waveguide. For example, in the condition of not driving the thin film heater, the optical path length of the two arm optical waveguides 4a and 4b is equal, and outgoing radiation of the light which outgoing radiation of the light which carried out incidence from input port 2a was carried out from 2d of output ports, and carried out incidence from input port 2b is carried out from output port 2c.

[0005] Here, if current is given to a thin film heater and $1/2$ wave is given to the optical-path-length difference of a sink and the two arm optical waveguides 4a and 4b, outgoing radiation of the light which carried out incidence from input port 2a will be carried out from output port 2c. That is, switching of light is realized. Since integration by the multistage configuration is possible for this switch, those needs are increasing in optical network construction in recent years.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] About 0.5W power consumption was required of the heat optical switch introduced with the conventional technology. Therefore, there was several W pyrexia in some which accumulated ten-piece order on the same substrate. In case such a switch is built into the exchange or transmission equipment, the packaging density is restricted with the calorific value of the switch section. For this reason, power-saving of a waveguide mold optical switch had become a technical problem.

[0007] The object of this invention is to offer the technology which can achieve power-saving of a waveguide mold optical switch. As new along [said] this invention a feature as the other objects will become clear by description and the accompanying drawing of this description.

[0008]

[The means for ****(ing) a technical problem] It will be as follows if the outline of a typical thing is briefly explained among invention indicated in this application.

(1) Two directional couplers to which two optical waveguides are made to come to approach by two places on a substrate, In the heat optical switch of the Mach TSUENDA mold which consists of a thin film heater which gives a thermooptic effect to the two arm optical waveguide which connects said directional coupler, and said arm optical waveguide, and shifts the phase of propagation light The slot which divides the arm optical waveguide concerned in the middle of the arm optical waveguide which should give said thermooptic effect at least is arranged, and it comes to fill up an organic material with a larger heat optical constant than the heat optical constant of the arm optical waveguide which should give said thermooptic effect to this slot.

[0009] (2) Two directional couplers to which two optical waveguides are made to come to approach by two places on a substrate, In the heat optical switch of the Mach TSUENDA mold which consists of a thin film heater which gives a thermooptic effect to the two arm optical waveguide which connects said directional coupler, and said arm optical waveguide, and shifts the phase of propagation light The slot which divides the arm optical waveguide concerned in the middle of the arm optical waveguide which should give said thermooptic effect at least is arranged. It fills up with the organic material which has a larger heat optical constant than the heat optical constant of said arm optical waveguide which should give said thermooptic effect in this slot, and comes to arrange the slot for heat-conduction prevention at the outside edge of said arm optical waveguide and heater.

[0010] (3) The slot divided into plurality so that the overall length of a slot might become equal between two arms to the both sides of said two arm optical waveguide is arranged.

(4) The gap between said two or more slots is 30 micrometers - 100 micrometers.

(5) Said thin film heater is arranged on the outside of said two arm optical waveguide.

[0011] That is, in order to attain power-saving of the above-mentioned waveguide mold optical switch, the big thermooptic effect of an organic material is used in the optical switch of this invention. Specifically a slot is processed into the arm optical waveguide of a Mach-Zehnder interferometer, it is filled up with the big organic material of a thermooptic effect there, and an optical switch is realized using the refractive-index change by the temperature of the organic material.

[0012] Hereafter, this invention is explained to details with the gestalt (example) of operation with reference to a drawing. In addition, in the complete diagram for explaining an example, what has the same function attaches the same sign, and

explanation of the repeat is omitted.

[0013]

[Embodiment of the Invention] (Operation gestalt 1) The expanded sectional view which cut with the enlarged view near the thin film heater of drawing 1 the plan and drawing 2 which show the outline configuration of the heat optical switch using the optical waveguide of the operation gestalt 1 according [drawing 1] to this invention, and cut drawing 3 with the A-A' line of drawing 1 , and drawing 4 are the expanded sectional views cut with the B-B' line of drawing 2 .

[0014] The heat optical switch of this operation gestalt 1 is a switch of the Mach-Zehnder-interferometer mold which used the quartz system optical waveguide on a silicon substrate. However, the heat optical switch of this invention has realized the switching function to the conventional heat optical switch having used the thermooptic effect of quartz glass using the thermooptic effect of organic materials, such as silicone resin.

[0015] In drawing 1 thru/or drawing 4 1 A substrate (for example, a silicon substrate is used), In 2, input/output port and 2a the 1st input port and 2b The 2nd input port, The 2nd output port and 3 2c the 1st output port and 2d A directional coupler (for example, a 3dB thing is used), Optical waveguide (for example, quartz system glass is used) and 4a 4 The 1st arm optical waveguide, 4b -- the 2nd arm optical waveguide and 4c -- clad glass and 5 -- a thin film heater (for example, Cr -- since -- it becomes) -- It is the field where the slot and 6a with which, as for the electrode of a thin film heater and 5c, it fills up with a thin film heater conservation film, and, as for 5a and 5b, the organic material (for example, silicone resin is used) is filled up, as for 6 applied silicone resin, and 7 applied silicone resin.

[0016] Two directional couplers 3 to which the heat optical switch of this operation gestalt 1 makes two optical waveguides (quartz system optical waveguide) 2 come to approach by two places on a substrate (silicon substrate) 1 as shown in drawing 1 thru/or drawing 4 (3dB), The two arm optical waveguides 4a and 4b which connect this directional coupler 3, It is the heat optical switch of the Mach TSUENDA mold which consists of a thin film heater (for example, Cr is used) 5 which gives a thermooptic effect to said arm optical waveguides 4a and 4b, and shifts the phase of propagation light. The slot 6 which divides the arm optical waveguides 4a and 4b concerned in the middle of the arm optical waveguides 4a and 4b which should give said thermooptic effect at least is arranged. It comes to fill up the organic material which has a larger heat optical constant than the heat optical constant of the arm optical waveguides 4a and 4b which should give said thermooptic effect in this slot 6.

[0017] The principle of operation of the heat optical switch of this operation gestalt 1 is explained below. When not impressing voltage to the electrodes 5a and 5b of the thin film heater 5, since the two arm optical waveguides 4a and 4b are designed so that it may become the optical path length same as a whole, outgoing radiation of the light which carried out incidence from the 1st input port 2a is carried out from the 2d of the 2nd output port.

[0018] Next, if voltage is impressed and heated to the electrodes 5a and 5b of the thin film heater 5, the temperature of the field 8 shown with the slash of drawing 2 will rise. In this case, for the two arm optical waveguides 4a and 4b, since portions other than slot 6 are built by the object, an optical-path-length difference is not produced. However, the slot is formed in the field with a temperature rise only at 1st arm optical waveguide 4a, and to silicone resin (organic material) 6a with which the slot 6 was filled up having the heat optical constant of -3.7×10^{-4} ($1/^\circ\text{C}$), since the heat optical constant of quartz system glass is 1×10^{-5} ($1/^\circ\text{C}$), an optical-path-length difference occurs in the two arm optical waveguides 4a and 4b.

[0019] this operation gestalt 1 -- the length of the thin film heater 5 -- the length of 1 millimeter and a slot -- the depth of 20 micrometers and a slot 6 was designed [the gap of 15 micrometers and a slot 6 / the number of the slot 6 per one of 50 micrometers and the arm optical waveguide 4 / the gap of the 20 and two arm optical waveguides 4a and 4b] for the width of face of 50 micrometers and the thin film heater 5 to 30 micrometers.

[0020] Here, the reason for not arranging the thin film heater 5 right above silicone resin (organic material) 6a is because it was difficult to form the thin film heater 5 on silicone resin 6a in process. Therefore, it is not the essential item of this invention to shift the thin film heater 5 from right above silicone resin 6a, and if it becomes possible in process, a heat optical switch with more small power consumption will be realized.

[0021] In the case of this operation gestalt 1, in the location of the core of the arm optical waveguides 4a and 4b, $1/2$ wave of optical-path-length difference of 1.55 micrometers of signal light arose in about 7°C temperature rise. It was 42mW, the supply voltage, i.e., the switch power, to the thin film heater 5 at this time. This value is $1/10$ or less value of the conventional heat optical switch, and it was checked that the power consumption of the heat optical switch of this operation gestalt 1 is small.

[0022] Silicone resin 6a with which there [the slot 6 and there] where it prepared in 2nd arm optical waveguide 4b of drawing 1 were filled up is prepared since the optical-path-length difference of the two arm optical waveguides 4a and 4b does not

arise depending on environmental temperature, and in order to make equal optical loss of the two arm optical waveguides 4a and 4b.

[0023] Since the heat optical switch of this invention uses the thermo-optic effect of silicone resin, an important thing is the sum total of the length of the silicone resin which light spreads. Therefore, one connected slot is sufficient as the slot 6 filled up with silicone resin 6a.

[0024] However, having divided, as shown in drawing 2 depends the slot 6 which fills up the silicone resin 6a with this operation gestalt 1 on the following situations. That is, there is no structure in the slot 6 which divides the core of the arm waveguides 4a and 4b in the slight closing depth of light, light-emission loss arises, and this radiation loss increases exponentially with the length of a slot 6, as shown in drawing 5.

[0025] Therefore, if it divides into two or more slots 6 to the length of the target slot 6, loss of the one-piece one slot 6 is suppressed small, and total power dissipation is smaller than the case of one connected slot. that is, it is markedly alike, radiation loss has less way with no less than 15 micrometers of 20 slots 6 than the 300-micrometer slot 6, and it ends. Moreover, as for the gap of relation with radiation mode to the slot 6, radiation loss becomes small at the time of 30-100 micrometers as indicated by the JP,7-56034,A official report. Therefore, with this operation gestalt 1, the length of a slot 6 was designed with 15 micrometers, and the gap was designed with 50 micrometers. The radiation loss at this time was 0.6dB. This radiation loss is the subtracting point of this invention.

[0026] The method of producing the heat optical switch shown in drawing 1 is described below. Lower clad glass (thickness of 40 micrometers after rarefaction) 4c and core glass (thickness of 7 micrometers after the rarefaction) are deposited by the flame depositing method on a silicon substrate 1. After carrying out the rarefaction of it at an elevated temperature 1000 degrees C or more, the core glass of the arm optical waveguides 4a and 4b is patternized by the photolithography method and the reactive-ion-etching method. Furthermore, up clad glass (thickness of 20 micrometers after rarefaction) 4c is embedded deposition and by carrying out the rarefaction by the flame depositing method, and optical waveguides 4, 4a, and 4b are formed.

[0027] Next, Cr and Au are deposited with a vacuum deposition method, and the thin film heater 5 and electric wiring are formed for the Cr and Au which were deposited by the photolithography method and the wet etching method. About 2 micrometer of SiO(s)2 as protective coat 5c are deposited on the front face of the thin film heater 5 in a spatter if needed. So far, it is the same as the method of producing the conventional heat optical switch.

[0028] Further, the slot 6 was processed by the lithography method and the reactive-ion-etching method, and silicone resin is filled up with this invention into the slot 6. With this operation gestalt 1, the refractive-index difference of a core and a clad was set up to 0.45%.

[0029] (Operation gestalt 2) Drawing 6 is the flat-surface enlarged view showing the outline configuration near the thin film heater of the heat optical switch of the operation gestalt 2 of this invention. Although the structure of the heat optical switch of this operation gestalt 2 is almost the same as said operation gestalt 1 as shown in drawing 6, the points which newly arrange the slot 9 at the outside edge of the arm optical waveguides 4a and 4b and the thin film heater 5 differ. The reason for having newly added the slot 9 aims at preventing diffusion of the heat to an unnecessary field.

[0030] Since thermal conductivity was low compared with quartz system glass, by forming the slot 9 newly added with this operation gestalt 2, silicone resin could limit the heating field of the thin film heater 5, was able to reduce switch power about ten percent, and was able to make it about 38mW.

[0031] It is more desirable for the inside of the slot newly added more preferably to be the cavity where thermal conductivity is small, although silicone resin is filled up with this operation gestalt 2 in the slot from the ease of production.

[0032] (Operation gestalt 3) Drawing 7 is the plan showing the outline configuration of the heat optical switch of the operation gestalt 3 of this invention. As the heat optical switch of this operation gestalt 3 is shown in drawing 7, as compared with said operation gestalt 1, the gaps of the arm optical waveguides 4a and 4b differ in arrangement of a slot 6 and the thin film heater 5, and a pan. The thin film heater 5 has been arranged not on between the two arm optical waveguides 4a and 4b but on the outside. With this operation gestalt 3, the temperature gradient of the two arm optical waveguides 4a and 4b which carried out induction at the thin film heater 5 is used. For this reason, the gap of the two arm optical waveguides 4a and 4b was designed with 125 micrometers.

[0033] In addition, the merit of the thin film heater 5, the length of a slot 6, the gap of a slot 6, the number of a slot 6, the width of face of the thin film heater 5, and the depth of a slot 6 were designed to the same value as said operation gestalt 1. Although the switch power at this time was a little big value as compared with 88mW and said operation gestalt 1, compared with the conventional type, it was 1/5 or less value.

[0034] (Example 4) Drawing 8 is the plan showing the outline configuration of the heat optical switch of the operation gestalt 4 of this invention. Although the structure of the heat optical switch of this operation gestalt 4 is almost the same as said operation

gestalt 4 as shown in drawing 8 , the points which newly arrange the slot 9 between the outside of the thin film heater 5 and the arm optical waveguides 4a and 4b differ. The reason aims at limiting a heating field and preventing diffusion of the heat to an unnecessary field. Switch power was able to be reduced about twenty percent according to this structure, and it was able to be made about 70mW.

[0035] The crossing output (from the 1st input port 2a of drawing 1 to the 2d of the 2nd output port) was realized by said operation gestalt in the condition that two arm optical waveguides 4a and 4b are total, and write the length of a slot equally, an optical-path-length difference is set to 0 by two arm optical waveguides 4a and 4b, and there is no voltage impression to the thin film heater 5.

[0036] Furthermore, there was an advantage of "an optical-path-length difference with the two arm optical waveguides 4a and 4b not arising depending on environmental temperature" and "loss with the two arm optical waveguides 4a and 4b having been equal." however, with the heat optical switch of a Mach TSUENDA mold Not only in when setting phase contrast with the two arm optical waveguides 4a and 4b to 0 in the condition of necessarily not impressing voltage For example, it may be necessary to make it a through output (from the 1st input port 2a to the 1st output port 2c of drawing 1) in the condition that phase contrast with the two arm optical waveguides 4a and 4b is set as 1/2 wave, and there is no voltage impression to the thin film heater 5.

[0037] In this case, when a thermooptic effect establishes 1/2 wave of optical-path-length difference of comparatively small quartz system optical waveguide, the switch "for which an optical-path-length difference with the two arm optical waveguides 4a and 4b hardly depends on environmental temperature" is realizable.

[0038] As mentioned above, although this invention was concretely explained based on said example, as for this invention, it is needless to say for it to be able to change variously in the range which is not limited to said example and does not deviate from the summary.

[0039] For example, although silicone resin was used as an organic material with said operation gestalt, not only this but the heat optical constant (temperature change of a refractive index) of things is [that what is necessary is just bigger than the heat optical constant of optical waveguide] clear. Generally, the refractive index of an organic material shows a negative value, and the absolute value has many which show the number of thermometers of a quartz system light wave way large 10 or more times, and can apply various things other than silicone.

[0040]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the heat optical switch which there can be little power consumption and can integrate was realized.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-29079

(P2000-29079A)

(43) 公開日 平成12年1月28日 (2000.1.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G 0 2 F	1/313	G 0 2 F 1/313	2 H 0 4 7
G 0 2 B	6/12	1/01	C 2 H 0 7 9
G 0 2 F	1/01	G 0 2 B 6/12	H 2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-192223

(22) 出願日 平成10年7月8日 (1998.7.8)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 井上 靖之

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 肥田 安弘

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100083552

弁理士 秋田 収喜

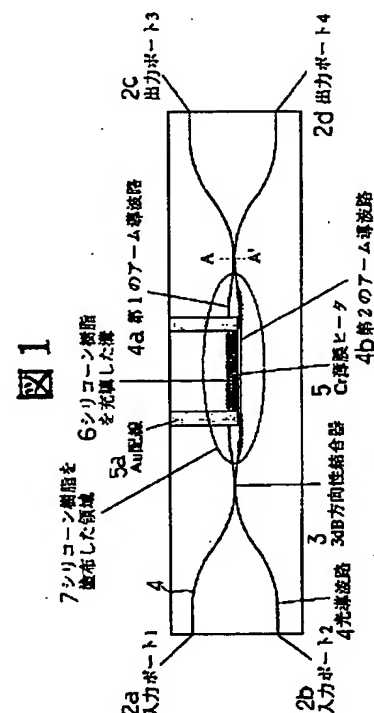
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱光学スイッチ

(57) 【要約】

【課題】 導波型光スイッチの省電力化をはかる。

【解決手段】 基板上で2本の導波路を2箇所近接させてなる2つの方向性結合器と、前記方向性結合器を連結する2本のアーム導波路と、前記アーム光導波路に熱光学効果を与えて伝搬光の位相をシフトする薄膜ヒータからなるマッハツェンダー型の熱光学スイッチにおいて、少なくとも前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の途中に当該アーム光導波路を分断する溝が配置され、該溝に前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の熱光学定数より大きい熱光学定数を持つ有機材料が充填されてなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上で2本の光導波路を2箇所近接させてなる2つの方向性結合器と、前記方向性結合器を連結する2本のアーム光導波路と、前記アーム光導波路に熱光学効果を与えて伝搬光の位相をシフトする薄膜ヒータからなるマッハツェンダー型の熱光学スイッチにおいて、少なくとも前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の途中に当該アーム光導波路を分断する溝が配置され、該溝に前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の熱光学定数より大きい熱光学定数を持つ有機材料が充填されてなることを特徴とする熱光学スイッチ。

【請求項2】 基板上で2本の光導波路を2箇所近接させてなる2つの方向性結合器と、前記方向性結合器を連結する2本のアーム光導波路と、前記アーム光導波路に熱光学効果を与えて伝搬光の位相をシフトする薄膜ヒータからなるマッハツェンダー型の熱光学スイッチにおいて、少なくとも前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の途中に当該アーム光導波路を分断する溝が配置され、該溝に前記熱光学効果を与えるべき前記アーム光導波路の熱光学定数より大きい熱光学定数を持つ有機材料が充填され、前記アーム光導波路及びヒータの外側端部に熱伝導防止用溝が配置されてなることを特徴とする熱光学スイッチ。

【請求項3】 前記2本のアーム光導波路の双方に、2本のアーム間で溝の全長が等しくなるように複数個に分割された溝が配置されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の熱光学スイッチ。

【請求項4】 前記複数の溝間の間隔が30マイクロメートル(μm)～100マイクロメートル(μm)であることを特徴とする請求項3に記載の熱光学スイッチ。

【請求項5】 前記薄膜ヒータが2本の前記アーム光導波路の外側に配置されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の熱光学スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】 本発明は、石英系光導波路を用いた集積型光スイッチに関し、詳しくは、石英系光導波路の一部に溝を加工し、その溝に有機材料を充填して、その有機材料の熱光学効果を利用してスイッチングを行う熱光学スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、石英系光導波路を用いた集積型熱光学スイッチに関しては、例えば M. Okuno et al., "8x8 optical matrix switch using silica-based planar lightwave circuits," IEICE Trans. Electron., vol. 76-C, no. 7, pp. 1215-1223, July 1993. に詳しく述べられている。

【0003】 このスイッチを図9に、また図9のCC'線の拡大断面図を図10に示す。

【0004】 これは、2つの方向性結合器を用いたマッ

ハツェンダ干渉計になっており、2本のアーム光導波路4a、4bの光路長差をアーム光導波路の表面に配置した薄膜ヒータで制御することによりスイッチングを行うものである。例えば、薄膜ヒータを駆動していない状態では2本のアーム光導波路4a、4bはその光路長が等しく、入力ポート2aから入射した光は出力ポート2dから出射され、入力ポート2bから入射した光は出力ポート2cから出射される。

【0005】 ここで、薄膜ヒータに電流を流し、2本のアーム光導波路4a、4bの光路長差に $1/2$ 波長を与えると、入力ポート2aから入射した光は出力ポート2cから出射される。すなわち光のスイッチングが実現される。このスイッチは多段構成による集積化が可能であるため近年の光ネットワーク構築においてそのニーズが高まりつつある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 従来技術で紹介した熱光学スイッチでは、およそ0.5ワットの消費電力が必要であった。よって、10個オーダーを同一基板上に集積したものでは数ワットの発熱があった。このようなスイッチを交換機や伝送装置に組み込む際、その実装密度はスイッチ部の発熱量で制限される。このため導波型光スイッチの省電力化が課題となっていた。

【0007】 本発明の目的は、導波型光スイッチの省電力化をはかることが可能な技術を提供することにある。本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

【0008】

【課題を解決するための手段】 本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

(1) 基板上で2本の光導波路を2箇所近接させてなる2つの方向性結合器と、前記方向性結合器を連結する2本のアーム光導波路と、前記アーム光導波路に熱光学効果を与えて伝搬光の位相をシフトする薄膜ヒータからなるマッハツェンダー型の熱光学スイッチにおいて、少なくとも前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の途中に当該アーム光導波路を分断する溝が配置され、該溝に前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の熱光学定数より大きい熱光学定数を持つ有機材料が充填されてなる。

【0009】 (2) 基板上で2本の光導波路を2箇所近接させてなる2つの方向性結合器と、前記方向性結合器を連結する2本のアーム光導波路と、前記アーム光導波路に熱光学効果を与えて伝搬光の位相をシフトする薄膜ヒータからなるマッハツェンダー型の熱光学スイッチにおいて、少なくとも前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路の途中に当該アーム光導波路を分断する溝が配置され、該溝に前記熱光学効果を与えるべき前記アーム

ム光導波路の熱光学定数より大きい熱光学定数を持つ有機材料が充填され、前記アーム光導波路とヒータの外側端部に熱伝導防止用溝が配置されてなる。

【0010】(3) 前記2本のアーム光導波路の双方に、2本のアーム間で溝の全長が等しくなるように複数個に分割された溝が配置されている。

(4) 前記複数の溝間の間隔が30マイクロメートル〜100マイクロメートルである。

(5) 前記薄膜ヒータが2本の前記アーム光導波路の外側に配置されている。

【0011】すなわち、前述の導波型光スイッチの省電力化を図るため、本発明の光スイッチでは、有機材料の大きな熱光学効果を利用する。具体的には、マッハツェンダ干渉計のアーム光導波路に溝を加工し、そこに熱光学効果の大きな有機材料を充填して、その有機材料の温度による屈折率変化を利用して光スイッチを実現する。

【0012】以下、本発明について、図面を参照して実施の形態(実施例)とともに詳細に説明する。なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0013】

【発明の実施の形態】(実施形態1) 図1は本発明による実施形態1の光導波路を用いた熱光学スイッチの概略構成を示す平面図、図2は図1の薄膜ヒータ近傍の拡大図、図3は図1のA-A'線で切った拡大断面図、図4は図2のB-B'線で切った拡大断面図である。

【0014】本実施形態1の熱光学スイッチは、シリコン基板上の石英系光導波路を用いたマッハツェンダ干渉計型のスイッチである。ただし、従来の熱光学スイッチが石英ガラスの熱光学効果を利用していたのに対し、本発明の熱光学スイッチはシリコン樹脂などの有機材料の熱光学効果を利用してスイッチング機能を実現している。

【0015】図1乃至図4において、1は基板(例えばシリコン基板を用いる)、2は入出力ポート、2aは第1の入力ポート、2bは第2の入力ポート、2cは第1の出力ポート、2dは第2の出力ポート、3は方向性結合器(例えば3dBのものを用いる)、4は光導波路

(例えば石英系ガラスを用いる)、4aは第1のアーム光導波路、4bは第2のアーム光導波路、4cはクラッドガラス、5は薄膜ヒータ(例えばCrをからなる)、5a、5bは薄膜ヒータの電極、5cは薄膜ヒータ保存膜、6は有機材料(例えばシリコン樹脂を用いる)が充填されている溝、6aはシリコン樹脂、7はシリコン樹脂を塗布した領域である。

【0016】本実施形態1の熱光学スイッチは、図1乃至図4に示すように、基板(シリコン基板)1上で2本の光導波路(石英系光導波路)2を2箇所近接させてなる2つの方向性結合器(3dB)3と、この方向性結

合器3を連結する2本のアーム光導波路4a、4bと、前記アーム光導波路4a、4bに熱光学効果を与えて伝搬光の位相をシフトする薄膜ヒータ(例えばCrを用いる)5からなるマッハツェンダ型の熱光学スイッチであって、少なくとも前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路4a、4bの途中に当該アーム光導波路4a、4bを分断する溝6が配置され、この溝6に前記熱光学効果を与えるべきアーム光導波路4a、4bの熱光学定数より大きい熱光学定数を持つ有機材料が充填されてなる。

【0017】以下に本実施形態1の熱光学スイッチの動作原理を説明する。薄膜ヒータ5の電極5a、5bに電圧を印加しない場合、2本のアーム光導波路4a、4bは、全体として同じ光路長になるように設計されているため、第1の入力ポート2aから入射した光は第2の出力ポート2dから出射される。

【0018】次に、薄膜ヒータ5の電極5a、5bに電圧を印加して加熱すると、図2の斜線で示す領域8の温度が上昇する。この場合、2本のアーム光導波路4a、4bにとって溝6以外の部分は、対象につくられているため光路長差は生じない。しかし、温度上昇がある領域には、第1のアーム光導波路4aにのみ溝6が形成されており、その溝6に充填したシリコン樹脂(有機材料)6aが -3.7×10^{-4} (1/°C)の熱光学定数を有するのに対して石英系ガラスの熱光学定数が 1×10^{-5} (1/°C)であるため、2本のアーム光導波路4a、4bに光路長差が発生する。

【0019】本実施形態1では、薄膜ヒータ5の長さを1ミリメートル、溝の長さを15マイクロメートル、溝6の間隔を50マイクロメートル、アーム光導波路4の1本当りの溝6の本数を20本、2本のアーム光導波路4a、4bの間隔を50マイクロメートル、薄膜ヒータ5の幅を20マイクロメートル、溝6の深さを30マイクロメートルに設計した。

【0020】ここで、薄膜ヒータ5をシリコン樹脂(有機材料)6aの真上に配置していない理由は、プロセス的にシリコン樹脂6aの上に薄膜ヒータ5を形成することが難しかったためである。よって、薄膜ヒータ5をシリコン樹脂6aの真上からずらすことは本発明の本質的な項目ではなく、プロセス的に可能になれば、より消費電力の小さな熱光学スイッチが実現される。

【0021】本実施形態1の場合、アーム光導波路4a、4bのコアの位置において約7°Cの温度上昇で信号光1.55マイクロメートルの1/2波長の光路長差が生じた。この時の薄膜ヒータ5への供給電力、すなわちスイッチ電力は42ミリワットであった。この値は従来の熱光学スイッチの10分の1以下の値であり、本実施形態1の熱光学スイッチの消費電力が小さいことが確認された。

【0022】図1の第2のアーム光導波路4bに設けた

溝6及びそこに充填したシリコン樹脂6aは、環境温度に依存して2本のアーム光導波路4a、4bの光路長差が生じないため、及び2本のアーム光導波路4a、4bの光損失を等しくするために設けている。

【0023】本発明の熱光学スイッチは、シリコン樹脂の熱光学効果を利用しているため、重要なことは光が伝搬するシリコン樹脂の長さの合計である。したがって、シリコン樹脂6aを充填する溝6は、連結した一つの溝でも良い。

【0024】しかしながら、本実施形態1でそのシリコン樹脂6aを充填する溝6を図2に示すように分割したのは以下の事情によるものである。すなわち、アーム光導波路4a、4bのコアを分断する溝6には光の閉じこめ構造がなく、光の放射損失が生じ、この放射損失は、図5に示すように、溝6の長さとともに指数関数的に増大するものである。

【0025】したがって、目的とする溝6の長さに対して複数個の溝6に分割すれば、1個1個の溝6の損失は小さく抑えられ、全損失は連結した一つの溝の場合よりも小さい。すなわち、300マイクロメートルの溝6よりも15マイクロメートルの溝6が20本あるほうが放射損失が格段に少なくて済む。また、特開平7-56034公報に開示されているように、放射モードとの関係から溝6の間隔は30~100マイクロメートルの時に放射損失が小さくなる。よって、本実施形態1では溝6の長さを15マイクロメートル、間隔を50マイクロメートルと設計した。この時の放射損失は0.6dBであった。この放射損失が本発明のマイナス点である。

【0026】以下に図1に示した熱光学スイッチの作製法を述べる。シリコン基板1上に下部クラッドガラス（透明化後の厚み40マイクロメートル）4c、コアガラス（透明化後の厚み7マイクロメートル）を火炎堆積法で堆積する。それを1000℃以上の高温で透明化した後、フォトリソグラフィ法と反応性イオンエッチング法でアーム光導波路4a、4bのコアガラスをパターン化する。さらに、上部クラッドガラス（透明化後の厚み20マイクロメートル）4cを火炎堆積法で堆積、透明化することによって埋め込み光導波路4a、4bを形成する。

【0027】次に、真空蒸着法でCr及びAuを堆積し、その堆積したCr及びAuをフォトリソグラフィ法とウェットエッチング法により薄膜ヒータ5及び電気配線を形成する。必要に応じて、保護膜5cとしてのSiO₂を2マイクロメートル程度スパッタ法で薄膜ヒータ5の表面に堆積する。ここまでは、従来の熱光学スイッチの作製法と同じである。

【0028】本発明では、さらに、リソグラフィ法と反応性イオンエッチング法により溝6を加工し、その溝6にシリコン樹脂を充填している。本実施形態1では、コアとクラッドの屈折率差を0.45%に設定した。

【0029】（実施形態2）図6は本発明の実施形態2の熱光学スイッチの薄膜ヒータ付近の概略構成を示す平面拡大図である。本実施形態2の熱光学スイッチの構造は、図6に示すように、ほとんど前記実施形態1と同じであるが、アーム光導波路4a、4b及び薄膜ヒータ5の外側端部に新たに溝9を配置している点が異なる。新たに溝9を追加した理由は不要な領域への熱の拡散を防ぐことを目的としている。

【0030】シリコン樹脂は石英系ガラスに比べて熱伝導率が低いため、本実施形態2で新たに追加した溝9を設けることにより、薄膜ヒータ5の加熱領域を限定することができスイッチ電力を約1割低減して、約38ミリワットにすることができた。

【0031】本実施形態2では、作製の容易さから溝の中にシリコン樹脂が充填されているが、より好ましくは新たに追加した溝の中は熱伝導率の小さな空洞になっているほうが好ましい。

【0032】（実施形態3）図7は本発明の実施形態3の熱光学スイッチの概略構成を示す平面図である。本実施形態3の熱光学スイッチは、図7に示すように、前記実施形態1と比較して溝6及び薄膜ヒータ5の配置、さらにアーム光導波路4a、4bの間隔が異なる。薄膜ヒータ5は、2本のアーム光導波路4a、4bの間ではなく、その外側に配置した。本実施形態3では、薄膜ヒータ5によって誘起した2本のアーム光導波路4a、4bの温度差を利用する。このため2本のアーム光導波路4a、4bの間隔を125マイクロメートルと設計した。

【0033】その他、薄膜ヒータ5の長、溝6の長さ、溝6の間隔、溝6の本数、薄膜ヒータ5の幅、溝6の深さは、前記実施形態1と同じ値に設計した。この時のスイッチ電力は88ミリワットと前記実施形態1に比較するとやや大きな値ではあるが、従来型に比べると1/5以下の値であった。

【0034】（実施例4）図8は本発明の実施形態4の熱光学スイッチの概略構成を示す平面図である。本実施形態4の熱光学スイッチの構造は、図8に示すように、ほとんど前記実施形態4と同じであるが、薄膜ヒータ5の外側とアーム光導波路4aと4bの間に新たに溝9を配置している点が異なる。その理由は、加熱領域を限定して不要な領域への熱の拡散を防ぐことを目的としている。この構造によりスイッチ電力を2割程度低減して約70ミリワットにすることができた。

【0035】前記実施形態では、2つのアーム光導波路4aと4bは溝の長さを総和で等しくしたため、2つのアーム光導波路4aと4bで光路長差が0となり、薄膜ヒータ5への電圧印加がない状態でクロス出力（図1の第1の入力ポート2aから第2の出力ポート2d）が実現された。

【0036】さらに、「環境温度に依存して2本のアーム光導波路4aと4bとの光路長差が生じない」「2本

のアーム光導波路 4 a と 4 b との損失が等しい」という利点があった。しかしながら、マッハツェンダ型の熱光学スイッチでは、必ずしも電圧を印加しない状態で 2 本のアーム光導波路 4 a と 4 b との位相差を 0 にしておく場合だけではなく、例えば、2 本のアーム光導波路 4 a と 4 b との位相差を $1/2$ 波長に設定して薄膜ヒータ 5 への電圧印加がない状態でスルー出力（図 1 の第 1 の入力ポート 2 a から第 1 の出力ポート 2 c）にする必要があることもある。

【0037】この場合は、熱光学効果が比較的小さい石英系光導波路の光路長差を $1/2$ 波長設けることにより、「2 本のアーム光導波路 4 a と 4 b との光路長差が環境温度にほとんど依存しない」スイッチが実現できる。

【0038】以上、本発明を、前記実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは勿論である。

【0039】例えば、前記実施形態では、有機材料としてシリコン樹脂を用いたが、これに限らず熱光学定数（屈折率の温度変化）が光導波路の熱光学定数より大きなものであれば良いことは明らかである。一般に、有機材料の屈折率は負の値を示し、その絶対値は石英系光導波路の 10 倍以上大きな温度計数を示すものが多く、シリコン以外の種々のものが適用できる。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、消費電力が少なく集積化が可能な熱光学スイッチが実現された。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による実施形態 1 の光導波路を用いた熱光学スイッチの概略構成を示す平面図である。

【図 2】図 1 の薄膜ヒータ近傍の拡大図である。

【図 3】図 1 の A-A' 線で切った拡大断面図である。

【図 4】図 2 の B-B' 線で切った拡大断面図である。

【図 5】溝の深さと光の放射損失との関係を示す図である。

【図 6】本発明の実施形態 2 の熱光学スイッチの薄膜ヒータ付近の概略構成を示す平面拡大図である。

【図 7】本発明の実施形態 3 の熱光学スイッチの概略構成を示す平面図である。

【図 8】本発明の実施形態 4 の熱光学スイッチの概略構成を示す平面図である。

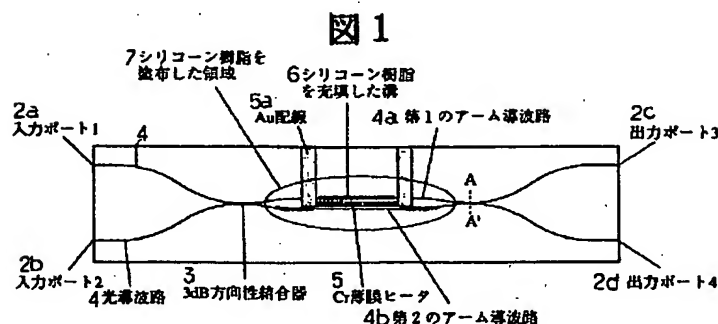
【図 9】従来の石英系光導波路を用いた集積型光スイッチの全体図である。

【図 10】図 9 の C-C' 線の拡大図である。

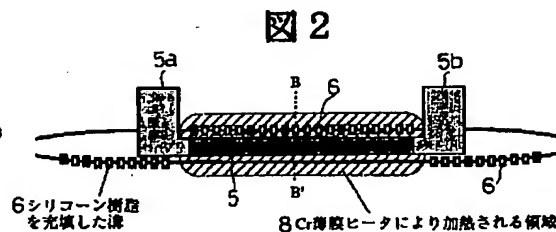
【符号の説明】

1…基板、2…光導波路、2 a…第 1 の入力ポート、2 b…第 2 の入力ポート、2 c…第 1 の出力ポート、2 d…第 2 の出力ポート、3…方向性結合器、4…光導波路、4 a…第 1 のアーム光導波路、4 b…第 2 のアーム光導波路、4 c…クラッドガラス、5…薄膜ヒータ、5 a, 5 b…薄膜ヒータの電極、5 c…薄膜ヒータ保護膜、6…有機材料が充填され、アーム光導波路の途中に配置された溝（アーム光導波路分断用溝）、6 a…シリコン樹脂、7…シリコン樹脂塗布領域、8…薄膜ヒータにより加熱される領域、9…熱伝導防止用溝。

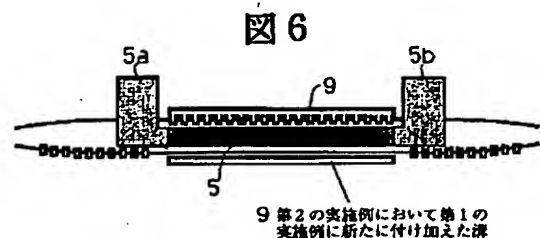
【図 1】



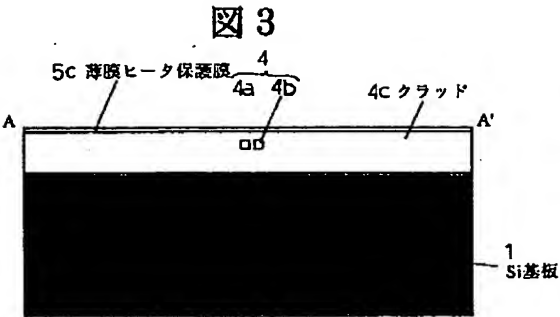
【図 2】



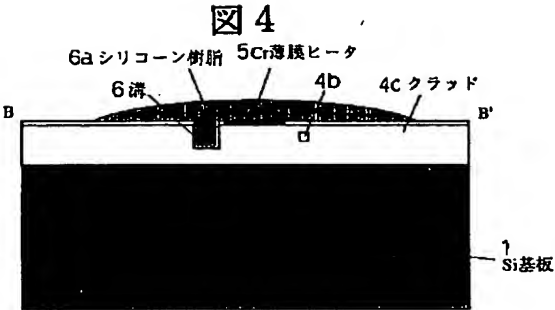
【図 6】



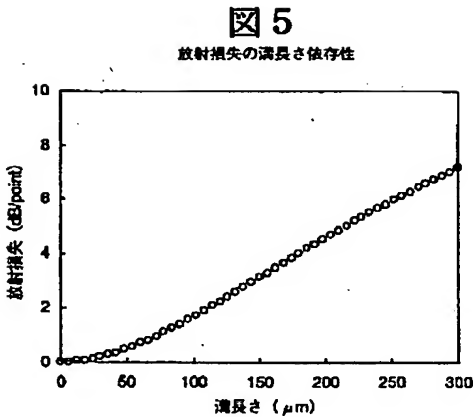
【図3】



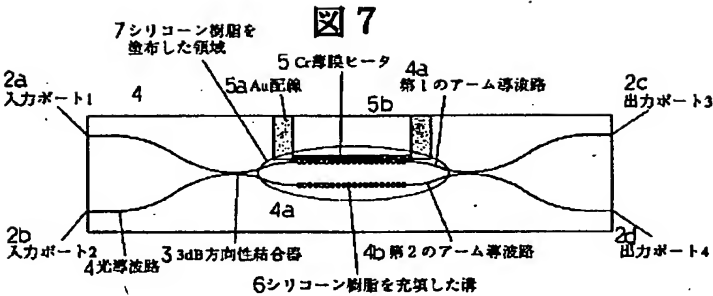
【図4】



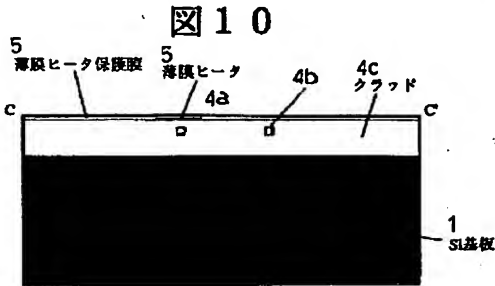
【図5】



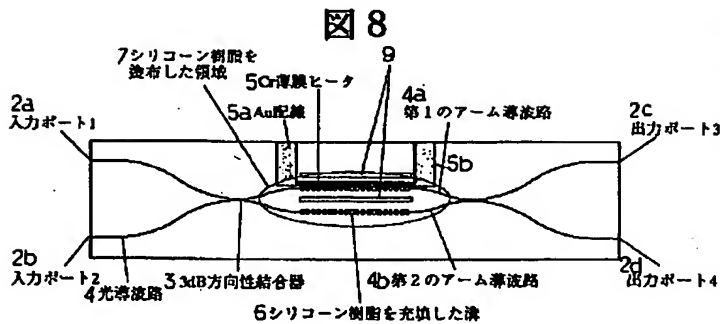
【図7】



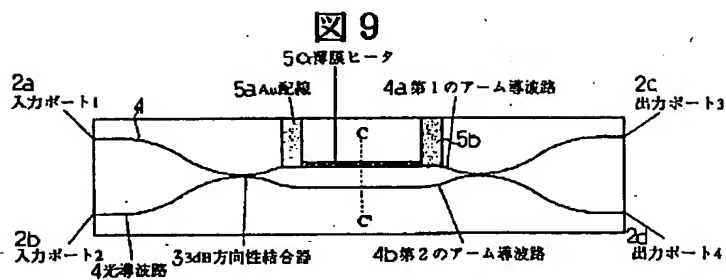
【図10】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72) 発明者 杉田 彰夫
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2H047 AA03 AB04 DD01 EE03 EE12
EE24 GG04 GG05 HH08
2H079 AA06 BA03 CA05 DA03 DA17
DA22 EA04 HA22 JA03 JA07
2K002 AB04 AB13 BA13 CA02 CA06
CA22 DA07 EA04 FA06 FA17
HA11